

(51) Int.Cl. ⁸	識別記号	F I
G 0 2 F 1/015	5 0 5	G 0 2 F 1/015 5 0 5
G 0 2 B 6/12		G 0 2 B 6/12 J
H 0 1 L 31/0248		H 0 1 L 31/08 H

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 50 頁)

(21) 出願番号 特願平8-507561
 (86) (22) 出願日 平成7年(1995) 8月14日
 (85) 翻訳文提出日 平成9年(1997) 2月12日
 (86) 国際出願番号 P C T / U S 9 5 / 1 0 3 1 3
 (87) 国際公開番号 W O 9 6 / 0 5 5 3 6
 (87) 国際公開日 平成8年(1996) 2月22日
 (31) 優先権主張番号 0 8 / 2 8 9 , 9 3 6
 (32) 優先日 1994年 8月12日
 (33) 優先権主張国 米国 (U S)

(71) 出願人 ブラント・エイ・ペインター, ザ・サード
 アメリカ合衆国バージニア州24175, トラ
 ウトビル, リー・ハイウェイ・サウス
 20, ビー・オー・ボックス 477
 (72) 発明者 ブラウン, トーマス・ジー
 アメリカ合衆国ニューヨーク州14623, ロ
 チェスター, ドンカスター・ロード 205
 (74) 代理人 弁理士 社本 一夫 (外5名)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光電子カプラ

(57) 【要約】

本発明は、外部光学波 (10) とローカル光学波 (16、18、20) と間の結合を行うための光電子装置である。ローカル波は複数の電極 (12) 及び該電極に関連する構造によって支持される。複数の電極は実質的に規則的なパターンに間隔をとられ、2つの機能に対して適合される。第1に、電極は外部波とローカル波の間を共振的に結合する。第2に、電極は近接する電極間の電圧差を許可する。1つの実施例において、複数の電極は、第1フィンガ及び第2フィンガ (22、24) を含む実質的に平面の金属の互いにかみ合わされた電極である。更に、電極は第1フィンガと第2フィンガの間の電圧差を許可するように適合される。更に、電極に関連する表面は、該電極と接触する実質的に平面のシリコン基板 (14) である。ローカル波は金属電極及びシリコン基板によって支持される表面プラズモン (16) である。シリコンの屈折率は電極の第1フィンガと第2フィンガの間の電圧差を変化させることによって変更され得る。入射光の変調又は検波のために光電子カプラが構成され得る。

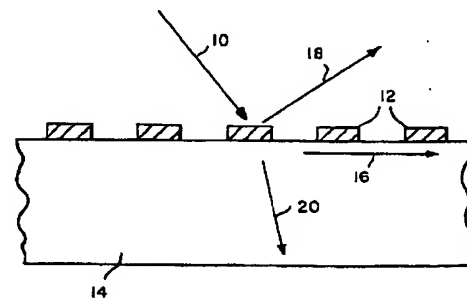


FIG. 1A

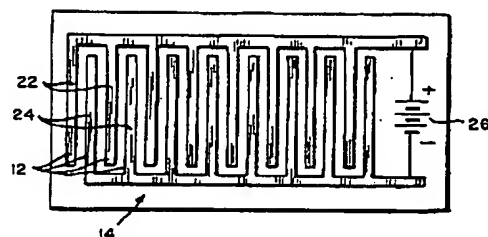


FIG. 1B

【特許請求の範囲】

1. 外部の光学波とローカル波の間を結合する光電子装置であって、
実質的に規則的なパターンに間隔をとられた複数の電極であって、前記外部波と前記ローカル波の間を共振的に結合するように適合され且つ近接する電極間の電圧差を許可するように適合される、複数の電極と、

前記複数の電極と関連する構造と

を備え、前記構造及び前記複数の電極は前記ローカル波を支持する、
装置。

2. 請求項1に記載の装置において、
前記外部波は一様な媒体を伝搬する波を含む、
装置。

3. 請求項2に記載の装置において、
前記複数の電極は実質的に平らであり、前記外部波は前記電極に垂直に入射する、
装置。

4. 請求項2に記載の装置において、
前記複数の電極は実質的に平らであり、前記外部波は波ベクトル k 及び入射角 θ によって記述され、前記ローカル波は実数部 β をもつ伝搬定数によって記述され、前記電極の間隔は m が整数である $\beta = k \sin \theta + 2\pi m / T$ に従って周期 T によって記述される、

装置。

5. 請求項4に記載の装置において、
 $|m| = 1$ である、

装置。

6. 請求項4に記載の装置において、
 $|m| = 2$ である、

装置。

7. 請求項1に記載の装置において、

前記ローカル波は表面プラズモン波を含む、
装置。

8. 請求項1に記載の装置において、
前記ローカル波は全内反射導波を含む、
装置。

9. 請求項1に記載の装置において、
前記ローカル波は表面減衰波を含む、
装置。

10. 請求項1に記載の装置において、
前記外部波及び前記ローカル波は電磁スペクトルの可視部分にある、
装置。

11. 請求項1に記載の装置において、
前記外部波及び前記ローカル波は電磁スペクトルの近赤外部分にある、
装置。

12. 請求項1に記載の装置において、
前記外部波及び前記ローカル波は電磁スペクトルの紫外部分にある、
装置。

13. 請求項1に記載の装置において、
前記複数の電極は金属電極を含む、
装置。

14. 請求項1に記載の装置において、
前記複数の電極は第1フィンガ及び第2フィンガを含む互いにかみ合わされた
電極を含み、前記電極は前記第1フィンガと前記第2フィンガの間の電圧差を許
可するように適合される、
装置。

15. 請求項1に記載の装置において、
前記複数の電極は実質的に平らである、
装置。

16. 請求項1に記載の装置において、

前記構造は変更可能な特性を有し、前記特性は近接する電極間の電圧差を変化させることによって変更され得る、

装置。

17. 請求項16に記載の装置において、
前記変更可能な特性は前記構造の屈折率を含む、
装置。

18. 請求項16に記載の装置において、
前記変更可能な特性は前記構造の複屈折係数を含む、
装置。

19. 請求項16に記載の装置において、
前記変更可能な特性は前記構造の吸収係数を含む、
装置。

20. 請求項16に記載の装置において、
前記変更可能な特性は光学的エネルギーを吸収する前記構造の能力を含み、前記
吸収の能力は共振エンハンスメントを基にして変更される、
装置。

21. 請求項16に記載の装置において、
前記変更可能な特性は自由キャリア・プラズマ効果を基にして変更される、
装置。

22. 請求項16に記載の装置において、
前記変更可能な特性はバントを満たすことを基にして変更される、
装置。

23. 請求項16に記載の装置において、
前記変更可能な特性は量子的に限られたシュタルク効果を基にして変更される
装置。

24. 請求項16に記載の装置において、
前記変更可能な特性はフランツ・ケルディッシュ効果を基にして変更される、
装置。

25. 請求項16に記載の装置において、
前記変更可能な特性はカー効果に基づいて変更される、
装置。
26. 請求項16に記載の装置において、
前記変更可能な特性はポッケルス効果に基づいて変更される、
装置。
27. 請求項1に記載の装置において、
前記複数の電極は変更可能な特性を有し、前記特性は近接する電極間の電圧差
を変化させることによって変更され得る、
装置。
28. 請求項1に記載の装置において、
前記複数の電極は実質的に平らであり、前記構造は前記電極に近接し且つ実質
的に平行な実質的に平面の基板を含む、
装置。
29. 請求項28に記載の装置において、
前記基板は半導体からなる、
装置。
30. 請求項29に記載の装置において、
前記半導体はシリコンからなる、
装置。
31. 請求項29に記載の装置において、
前記半導体はIII-V系からなる、
装置。
32. 請求項29に記載の装置において、
前記半導体はII-VI系からなる、
装置。
33. 請求項29に記載の装置において、
前記半導体はAlGaAs化合物からなる、
装置。

34. 請求項29に記載の装置において、
前記半導体はInGaAsP化合物からなる、
装置。

35. 請求項29に記載の装置において、
前記半導体は炭化ケイ素からなる、
装置。

36. 請求項29に記載の装置において、
前記電極及び前記半導体はオーム接触を形成する、
装置。

37. 請求項29に記載の装置において、
前記電極及び前記半導体はショットキー障壁を形成する、
装置。

38. 請求項28に記載の装置において、
前記基板はシリコン・オン・インシュレータ(SOI)構造からなる、
装置。

39. 請求項28に記載の装置において、
前記基板はグループIV系からなる、
装置。

40. 請求項28に記載の装置において、
前記構造は前記電極に近接し且つ実質的に平行な実質的に平面の被覆を更に備え、
前記電極は前記被覆と前記基板の間に位置し、前記基板と被覆は実質的に等しい屈折率を有する、
装置。

41. 請求項1に記載の装置において、
前記複数の電極は実質的に平面であり、前記構造は前記電極に近接し且つ実質的に平行な実質的に平面のシリコン膜を備える、
装置。

42. 請求項1に記載の装置において、
前記構造は電気光学的材質を備える、

装置。

43. 請求項42に記載の装置において、
前記電気光学的材質は電気光学的重合体からなる、
装置。

44. 請求項1に記載の装置において、
前記構造は量子井戸構造を備える、
装置。

45. 請求項1に記載の装置において、
前記構造は超格子構造を備える、
装置。

46. 請求項1に記載の装置において、
前記ローカル波は表面プラズモンを含み、
前記複数の電極は、実質的に平面の金属の互いにかみ合わされた第1フィンガ
及び第2フィンガを含む電極であって、前記第1フィンガと前記第2フィンガの
間の電圧差を許可するように適合される複数の電極を備え、
前記構造は、変更可能な屈折率を有する実質的に平面の半導体の基板であって
、前記電極に電氣的に接触する基板を備え、
前記基板の屈折率は前記第1フィンガと第2フィンガの間の電圧差を変化させ
ることによって変更され得る、
装置。

47. 請求項1に記載の装置において、
前記ローカル波は全内反射導波を含み、
前記複数の電極は、実質的に平面の金属の互いにかみ合わされた第1フィンガ
及び第2フィンガを含む電極であって、前記第1フィンガと前記第2フィンガの
間の電圧差を許可するように適合される複数の電極を備え、
前記構造は

- a) 前記第1フィンガに電氣的に接触するpドープされた半導体領域と、
- b) 前記第2フィンガに電氣的に接触するnドープされた半導体領域と、
- c) 変更可能な屈折率を有する実質的に平面の半導体の基板であって、前記

のnドープされた半導体領域及びpドープされた半導体領域に電氣的に接触する基板と

を備え、

前記基板の屈折率は前記第1フィンガと第2フィンガの間の電圧差を変化させることによって変更され得る、

装置。

48. 請求項48に記載の装置において、

前記基板は前記半導体の基板に近接し且つ実質的に平行な実質的に平面の絶縁層を更に備える、

装置。

49. 外部光学波から結果として生じた出力光学波を変調するための変調装置であって、

実質的に規則的なパターンに間隔をとられた複数の電極であって、

- a) 前記外部波とローカル光学波の間を共振的に結合するように、
- b) 前記外部波と前記出力波の間を共振的に結合するように、及び
- c) 近接する電極間の電圧差を許可するように

適合される複数の電極と、

前記複数の電極に関連する構造であって、前記構造と前記複数の電極が前記ローカル波を支持し、且つ変更可能な特性を有する構造と、

近接する電極間に電圧差を印加する電圧源であって、それによって前記変更可能な特性が変更され且つ前記出力波が変調される、電圧源と、

を備える変調装置。

50. 請求項49に記載の変調装置において、

前記出力波は前記電極から反射された波を含む、
変調装置。

51. 請求項49に記載の変調装置において、

前記出力波は前記電極によって透過された波を含む、
変調装置。

52. 外部光学波の強度を検知する光検波装置であって、

実質的に規則的なパターンに間隔をとられた複数の電極であって、前記外部波とローカル光学波の間を共振的に結合するように適合され且つ近接する電極間の電圧差を許可するように適合される複数の電極と、

前記複数の電極と関連する構造であって、前記構造と前記複数の電極が前記ローカル波を支持する、構造と、

前記電極に接続され、電氣的な量を検知するセンサと、
を備える光検波装置。

53. 請求項52に記載の光検波装置において、
前記センサは近接する電極間の電流を検知する、
光検波装置。

54. 請求項52に記載の光検波装置において、
前記センサは近接する電極間の電圧差を検知する、
光検波装置。

55. 請求項52に記載の光検波装置において、
前記センサは近接する電極間の電気抵抗を検知する、
光検波装置。

56. 外部光学波から結果として生じた出力光学波を変調するための方法であって、

実質的に規則的なパターンに間隔をとられた複数の電極を提供し、前記外部波とローカル光学波の間を共振的に結合し、前記外部波と前記出力波の間を共振的に結合するステップと、

前記複数の電極と関連する構造を該構造と前記複数の電極が前記ローカル波を支持するように配置するステップであって、前記構造は変更可能な特性を有する、ステップと、

前記電極と前記構造を、前記外部波が前記ローカル波に結合するように、該外部波に関して配置するステップと、

近接する電極間に電圧差を印加するステップと
を備える方法。

57. 外部光学波の強度を検知する方法であって、

実質的に規則的なパターンに間隔をとられた複数の電極を提供し、前記外部波とローカル光学波の間を共振的に結合するステップと、

前記電極と関連する構造を該構造と前記電極が前記ローカル波を支持するように配置するステップと、

前記電極と前記構造を、前記外部波が前記ローカル波に結合するように、該外部波に関して配置するステップと、

近接する電極を用いて前記外部波の強度に関連した電氣的な量を検知するステップと

を備える方法。

【発明の詳細な説明】

光電子カプラ

発明の背景発明の分野

本発明は、光電子 (optoelectronic) カプラに関する。このカプラの2つの応用には、光変調器としての応用と、又は光検波器としての応用とがある。

最近の技術の進歩の結果として、フォトリクスの分野が強調されている。これは、光及び光波の、発生、操作、変調、及び検波に関する分野であり、この分野では、光 (light) 及び光学的 (optical) とは、紫外線、可視光線、近赤外線、及び中間赤外線領域 (15 μ m程度の波長まで) を指すものとして用いられる。フォトリクス・デバイスへの関心も、対応して増加している。

特に、入射する光波の特性を変調する変調器と、入射波の強度を感知する検波器とは、ほとんどすべてのフォトリクス・システムのための、2つの基本的な構成ブロックである。例えば、光ファイバは、日々、ますます普及しつつある。そのシステムでは、情報は、光ビーム上の情報を符号化し、そのビームを受信機に送信し、受信したビームを復号することによって、通信される。符号化は、光変調器によって変調された一定の光源を用いて達成され、受信したビームを復号するには、検波器が要求される。別の例として、コンピュータは、より強力になると、プロセッサにおいて制限されるよりはむしろ、通信において制限されるという問題がある。すなわち、コンピュータの速度に関するボトルネックは、計算の実行に要する時間ではなく、ますます、コンピュータの種々の部分の間での通信に要する時間に関するものとなる傾向がある。1つの潜在的な解決は、電子的な相互接続ではなく、光学的なものを用いることであり、その理由は、フォトリクス技術が、潜在的に、速度に関する利点を提供するからである。このようなアプローチでは、光変調器及び検波器と用いて、ファイバ・システムと同じ態様で、ビットの符号化及び復号が行われる。最後の例としては、わたしたちの社会が、画像 (ピクチャ) に基づく通信の方向へ移動することを可能にする点における大

容量デバイスや高い帯域幅での通信の出現、ファックス機械の数の増大、及びテ

レビ番組の量などが、第1の例であり、これらのイメージの表示及び捕捉は、変調器と検波器とを必要とする。ファックス機械の中では、検波器は、送信面上のイメージを捕捉するのに用いられ、他方で、変調器は、受信側で、そのイメージを作成し、プリンタに出力するのに用いられる。検波器と変調器とは、ビデオの送信においては、類似の役割を演じる。これらの技術的な進歩の直接的な結果として、これらのデバイスとこれらのデバイスの改良とに対しては、常に要求が増加している。

しかし、電子と光子との間のギャップを架橋する検波器や変調器などのデバイスは、基本的な物理現象に依存しなければならない。本発明の内容に関していえば、依存する現象は、相互への光波のカップリング、電極を介しての電子的な効果の応用又は感知、及び、半導体又は電子的光学的材料などの特別の材料系の中での光子と電子との相互作用などである。従って、これらのデバイスの進歩は、基本的な物理的効果を強化する設計と、デバイスのコストの改善、信頼性、製造、動作の容易さなどの実地的な進歩とのどちらかに、大きな割合で依存する。

関連技術の説明

本発明は、複数の分野の交点に位置するので、関連技術は、判然とした領域に分割することができる。便宜上、完全な参考文献の引用は、好適実施例の説明の最後のセクションの集めてある。

1つの関連分野は、光波の間で結合を行う格子 (gratings) の設計に関する。例えば、Maystre et al., "On a General Theory of Anomalies and Energy Absorption by Diffraction Gratings and Their Relation with Surface Waves," *Optica Acta*, 25, 905-915 (1978); Magnusson, R., and Wang, S.S., "Optical Guided-mode Resonance Filter," U.S. Patent No. 5,216,680 (June 1, 1993); Delort, T., and Maystre, D., "Finite Element Method for Gratings," *J. Opt. Soc. Am. A*, 10, 2592 (1993); 及び Vincent, P., "Integral Equation Computation of Bump Grating Efficiencies in TE Polarization," *J. Opt. Soc. Am. A*, 10, 444 (1993), があり、これらの文献は、その内容をこの出願において援用するが、ここで説明する構造の詳細な光学的な特性を計算することので

きるアプローチを説明している。これらには、完全な電磁気的な扱いが記載されており、表面プラズモンの励起、完全内部反射 (T I R) 導波、及び表面消滅波 (surface evanescent waves) を含む。便宜上、局所波 (local wave) の語は、これら3つのタイプの波を指すものとして用いられる。Campbell, P., "Enhancement of Light Absorption from Randomizing and Geometric Textures," J. Opt. Soc. Am. B., 10, 2410(1993)には、幾何学的アプローチを用いて、織られた表面への光の吸収の強化が、理論的に記載されている。Sambles, J.R. et al., "Optical Excitation of Surface Plasmons: An Introduction," Contemporary Physics, 32, 173-183(1991)には、周期的な構造の使用を含む表面プラズモンの光学的な励起の一般理論が記載されており、Bryan-Brown, G.P. et al., "Coupled Surface Plasmons on Silver Coated Gratings," Optics Communications, 82, 1(1991)には、表面プラズモンの相互の結合が記載されている。これらの参考文献の内容は、本発明のある側面を設計するのに用いることができるが、これらの参考文献自体は、一次的には、静的な構造を介しての波の純粋に光学的な結合に向けられたものである。デバイスの動的な動作の問題は、満足のできるようには論じられてはおらず、また、電氣的な側面についても同様である。

光波の結合と何らかの電氣的な機能との両方に依存するデバイスが存在する。1つの応用領域は、導波管変調器の分野である。Simon, H.J. and Lee, C.H., "Electro-Optic Total Internal Reflection Modulation," Optics Letters, 13, 440 (1988) 及び Caldwell, M.E. and Yeatman, E.M., "Recent Advances in Surface Plasmon Spatial Light Modulators," SPIE Proceedings: Optics for Computers--Architectures and Technologies, 1505, 50(1991)には、デバイスの外部にある波とT I R導波又は表面プラズモンとの間の動的な結合についての記載がある。しかし、この結合は、プリズム結合すなわち減衰全内部反射結合 (frustrated total internal reflection coupling) によって、達成されるが、これは、本発明で用いられる格子結合のアプローチと比較して、実際上の欠点がある。格子変調器の分野では、Evans, A.E., and Hall, D.G., "Propagation Loss Measurements in Silicon-on-Insulator Optical Waveguides Formed by Bond-and-Etchback Process," Applied Physics Letters, 59, 1667-1669 (1991)

及び Collins, R.T., et al., "Optical Modulator," U.S. Patent No. 4,915,482 (April 10, 1990) には、共に、光波の間を格子を用いて結合することが記載されており、更に、結合効率が、構造の一部の間の印加される電圧を変動させることによって、変調される。しかし、全体の格子は、1つの電位値に維持され、電圧差が、その格子と構造の別の部分、典型的には、基板のバルクとの間に印加される。しかし、このように電極を形成し、デバイスのバルクに亘って電圧を印加することの結果として、デバイスの動作速度が低下するので、これは、受け入れられない。同様の状況は、Magnusson, R., and Wang, S.S., "Optical Guided-mode Resonance Filter," U.S. Patent No. 5,216,680 (June 1, 1993); Wang, S.S., and Magnusson, R., "Theory and Applications of Guided Mode Resonance Filters," *Applied Optics*, 32, 2606 (1993); 及び Rosenblatt, D., "Distributed Resonant Cavity Light Beam Modulator," U.S. Patent No. 5,157,537 (October 20, 1992) に関しても存在する。これらは、格子を結合デバイスとして用い、格子の光学的性質を電氣的に変動させる方法を提案している。しかし、電極は、上述のように、デバイスの高速な動作に適さない。更に、追加的な構造が、電氣的な機能を実現させるためには必要になり、結果的に、デバイスがより複雑になる。検波器の分野では、Brueck, S.R.J., et al., "Enhanced Quantum Efficiency Internal Photoemission Detectors by Grating Coupling to Surface Plasma Waves," *Applied Physics Letters*, 46, 915 (1985) が、入射光を検波器の活性領域に結合するのに格子を用いて、検波器の量子的な効率を向上させることを試みている。しかし、上述のデバイスで論じたように、発生する光電流を感知するのに用いられる電極構造は、デバイスの高速な動作には適さない。

関連する別の領域として、光変調器の一般的な分野がある。一般的な文献の代表的な例には、Lentine, A.L., et al., "Symmetric Self-Electro-optic Effect Device: Optical Set-Reset Latch, Differential Logic Gate, and Differential Modulator Detector," *IEEE J. Quantum Electronics*, 25, 1928 (1989); Pezeshki, B., et al., "Optimization of Modulation Ratio and Insertion Loss in Reflective Electroabsorption Modulators," *Applied Physics Letters*, 57, 1491 (1990); Treyz, G.V., et al., "GaAs Multiple Quantum Well Waveg

uide Modulators on Silicon Substrates,"Applied Physics Letters, 57, 1078 (1990); 及び Xiao, X., et al., "Fabry-Perot Optical Intensity Modulator at $1.3\mu\text{m}$ in Silicon,"IEEE Photonics Technology Letters, 3, 230(1991)があり、どれにも、種々のタイプの光変調器に関する記載があるが、本発明には、直接には関係しない。特に、これらの文献は、本発明とは、以下の点の中の少なくとも1つにおいて異なっている。第1に、これらのデバイスのいくつかは、用いられている電極構造のために、満足できる速度で動作せず、低速である。第2に、光波の結合に基づかないものもある。第3に、これらのデバイスのどれも、高速の電極構造と光学的な結合デバイスとを組み合わせる1つの構造にしていな。最後に、これらのデバイスの多くは、V S L I 製造技術に基づいておらず、従って、既存の製造の基礎を利用できず、他のV L S I 回路と共に容易に集積化することができない。

関連技術の最後の領域は、特別な構造を有する電極の使用に関するものである。変調器の領域では、指状に組み合わされた電極が、電子的・光学的な材料に亘って電圧パターンを印加するのに用いられてきた。Alferness, R.C., "Waveguide Electro-optic Modulators,"IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, MTT-30, 1121 (1982) 及び Hammer, J.M., et al., "Fast Electro-optic Waveguide Deflector Modulator,"Applied Physics Letters, 23, 176(1973)は、導波管の光学的な性質を変調するのにこのような電極を用いることが記載されており、結果的に、ある導波管モードと別のものとの結合を制御する導波管の変動が生じる。しかし、これらの場合の電極は、2つのモードだけを間接的に結合し、両方のモード共に導波管の内部になければならないという制限のために、このアプローチは、本発明の応用には不適切である。特別の電極構造は、検波器、特に、金属・半導体・金属 (MSM) タイプの検波器にも用いられ、これらのデバイスの速度を高めた。例えば、Alexandrou, S., et al., "A 75 GHz Silicon Metal-Semiconductor-Metal Schottky Photodiode,"Applied Physics Letters, 62, 2507(1993); Bassous, E., et al., "A High-Speed Silicon Metal-Semiconductor-Metal Photodetector Fully Integrable with(Bi)SMOS Circuits,"I

International Electron Devices Meeting 1991, Technical Digest, 187-

190(1991); Chou, S.Y. and Liu, M.Y., "Nanoscale Tera-Hertz Metal-Semiconductor-Metal Photodetectors," IEEE J. Quantum Electronics, 28, 2358(1992); Klingenstein, M., et al., "Ultrafast Metal-Semiconductor-Metal Photodiodes Fabricated on Low-Temperature GaAs," Appl. Phys. Lett., 60, 627(1992); 及び Soole, J.B.D., and Schumacher, H., "InGaAs Metal-Semiconductor-Metal Photodetectors for Long Wavelength Optical Communications," IEEE J. Quantum Electronics, 27, 737(1991)などを参照のこと。Ghioni, M., et al., "A High-Speed VLAI-Compatible Photodetector for Optical Data Link Applications," Private Communication, (1994)では、直列のPINダイオードに基づくナノ検波構造における特別の電極を用いている。

発明の概要

本発明は、外部の光波と局所的（ローカル）な光波との間の結合（カップリング）のための光電子デバイスである。局所波は、複数の電極と、それらの電極に関連する構造とによって支持される。複数の電極は、実質的に規則的なパターンに離間され、2つの機能のために構成されている。第1は、電極は、外部波と局所波との間を、共振的（resonantly）に結合することである。第2は、電極によって、隣接する電極の間の電位差を許容させることである。

ある実施例では、複数の電極は、第1のフィンガと第2のフィンガとを含み、平坦（プレーナ）で、金属製で、相互に指状に組み合わされた（interdigitated）電極である。また、電極は、第1のフィンガと第2のフィンガとの間の電位差を許容するように構成されている。更に、電極と関連する構造は、電極に接触する実質的にプレーナ型のシリコン基板である。局所波は、金属製の電極とシリコン基板とによって支持される表面プラズモンである。シリコンの屈折率は、電極の第1及び第2のフィンガの間の電位差を変動させることによって、変化させることができる。

別の実施例では、電極は上の段落の場合と同じで金属製の電極であり、電極に関連する構造も、上述のようにシリコン基板を含む。しかし、基板は電極に接触

しない。実際は、p型にドーピングされた半導体領域は、第1のフィンガと基板との間に接点を形成し、他方で、n型にドーピングされた半導体領域は、第2のフィンガ

に対して、同じ機能を実行する。局所波は、完全に内部反射で導かれる波であり、シリコンの屈折率は、従来のように変更することができる。

他の実施例においては、本発明は、入射光を変調又は検波するようにも構成できる。

図面の簡単な説明

図1Aは、本発明の実施例の側面断面図である。

図1Bは、図1Aの実施例の上方図である。

図2Aは、外部波としてのファイバの出力の図解である。

図2Bは、外部波としてのファイバの導波モードの図解である。

図3は、3層の誘電性の導波管の断面である。

図4は、心理的・誘電的な導波管の断面である。

図5A及び図5Bは、共振デチューニング (detuning) を図解する、反射した信号と入射角度とを両軸にとったグラフである。

図6A及び図6Bは、金属・半導体・金属デバイスのエネルギー図である。

図7Aから図7Cは、非対称的なデバイスにおけるプラズモン・モード・プロファイルの図解である。

図7D及び図7Eは、対称的なデバイスにおけるプラズモン・モード・プロファイルの図解である。

図8は、本発明の別の実施例の断面図である。

図9A及び図9Bは、本発明の更なる実施例の図解である。

図10は、本発明の更に別の実施例の断面図である。

図11Aは、反射 (reflective) 変調器として用いられている本発明の図解である。

図11Bは、送信 (transmissive) 変調器として用いられている本発明の図解である。

図12は、検波器として用いられている本発明の図解である。

好ましい実施例の記述

1. 導入部分

本発明の好ましい実施例は、図1A、1Bの助けにより説明され、外面波 (external wave、エクスターナル・ウェーブ) の光10は金属回折格子 (グレーティング) 12に入射する。外面波10は多くの方法により生成されることができ、例えば、もし本発明が別のソースを変調するために使用される場合には、外面波10は別のソースにより生成され、本発明の均一の媒体を介して伝達しても良い。互換的に、光結合の場合には、波は、レンズまたはレンズ・アレイ、ミラー、回折光学的要素、またはコンピュータで生成されたホログラムなどにより本発明に導かれても良い。ファイバもまた図2A、2Bに示されたように外面波を発生するために使用されても良い。図2Aにおいて、外面波10は光ファイバ13によりグレーティング12に導かれる。デバイスが反射波18を変調するために使用される興味ある実施例において、同じファイバ13が外面波10を発生しそして反射波18を再捕獲するために使用されても良い。図2Bにおいて、外面波10はファイバ13の被きよう導波 (guided wave) でありそしてファイバ13のクラディングは部分的にはがれて回折格子12がコア13Bからの波10を結合することを許容する。エクスターナル・ウェーブという用語は、これらの手段により発生された波を含むが、それらに制限されないことを意味する。この語は特に、以下に述べられる本発明の構成により案内される、TIR被きよう導波および表面プラズモンのような導波を排除する。加えて、図1Aは、外面波10、グレーティング12とこの実施例における装置の残りの部分を表す基板14との間の特別な空間的關係に対して本発明を制限することを意味していない。例えば、図1Aにおいて外面波10は回折格子12、そして基板14に遭遇するものとして述べられている。しかしながら、基板側からアプローチする、従って、基板14そして次にグレーティング12に遭遇する波10は等しく有効である。特に以下に述べられるさらに複雑な実施例に関しての他の間隔的な組み合わせは当業者には明らかであろう。

回折格子12はシリコン基板14に組み立てられ、そして回折格子12と基板

14の間のインターフェイスは、2つの構造に沿って伝達する表面プラズモン16を支持することができる。表面波10は、表面プラズモン16と同様に、反射波18及び屈折波20へと回折格子12により結合される。これらの波は単一の矢印により指示されるが、これらは例えば異なる回折順位に対応する多くの波で

有り得ることが理解される。好適な実施例において、金属のグレーティング12の各ストライプはまた電極として機能する。電極12は、互いにかみ合わせる（インターデジテート、interdigitate）ような様式で電氣的に接続され、第1および第2のフィンガー22、24を形成し、デバイスの電氣的機能はこれらのフィンガーを介して達成され得る。例えば、電圧は隣接する電極12を跨がって供給されても良く、または隣り合う電極間に流れる電流が検出されても良い。電極のこの配列は、光学的結合機能を維持しながらデバイスの速い電氣的動作を許容する。

このおよび次の実施例の多数は当業者に親しい技術を経て組み立てられることができる。このような技術は、以下にその教示が参照として含まれている、メイヤー、J. Wおよびロウ、S. S. ; による、シリコンとガリウム砒素における集積回路用の電子材料科学 (Electronic Material for Integrated and Silicon Gallium Arsenide), ニューヨーク ; マクミラン (1990) および Sze S. M. , VLSI Technology, ニューヨーク ; マクドゥーヒル ブック社 (1988) のような標準文献源に述べられている。本発明の種々の実施例を組み立てるために要求されるステップのうち、フォトリソグラフィー・ステップは、しばしば最も強調するものであろう。幾つかのアプリケーションに対しては、従来の光学的リソグラフィーが用いられ得る。しかし、或る場合には、デバイスの重要な寸法（例えば、電極12の幅）は、電子ビーム・リソグラフィーまたはx線リソグラフィーのような他の型のリソグラフィーを要求するのに十分に小さいであろう。この開示の残りのために、本発明を組み立てる方法は、当業者が要求された組立てに熟達していない場合を除き簡潔さのために省略されるであろう。

調節器（変調器、modulator）として動作するデバイスの好ましい実施例にお

いて、反射波18は出力波として取られることができる。反射波18は、例示目的のために選択される。透過波(transmitted wave)20または極地波(ローカル波、local wave)16はまた出力波として選択されても良い。出力波の強度は、入射波10が各種のモード16、18、20へと結合する効率を変えることにより調整され得る。電圧差26は、2組のフィンガ22、24を渡って印加され、

このため基板14に電界を発生する。電圧差を変えることにより、電界そしてこのため基板14の屈折率が変化し、この結果入力波10と出力波18の間の結合効率を変化させる。屈折率における変化を実効する特別の機構は次のように動作する。光はシリコン基板14に吸収され、そして自由キャリア・プラズマ効果を経て屈折率を変化する電子ホール対を生成する。印加された電圧は、基板14から電子ホール対を一掃するために使用され、このため電子ホール対の残りの数と結果として生じた屈折率変化の両方を変動する。印加された電界がシリコンにおける屈折率変化を達成できる方法のより詳細な議論のために、ソレフ、R、Aおよびベネット、B、R.によるシリコンにおける電気光学的効果(Electro-optical Effect) IEEE J. Quantum Electronics, QE-23, 123 (1987)を参照せよ。その教示は参照のために本文に含まれている。

本発明は、また光を検出するために使用されても良い。好適な実施例において、電圧26が、基板14内の電界を生じるために使用される。入射光10は電子ホール対を発生し、そしてこの効果は表面プラズモン16への結合に起因して強調(エンハンス)される。電界の結果として、発生された電子ホール対は基板14からグレーティング/電極12へとスイープ(sweep)され、そして入射光の強度はフィンガー22と24の間を流れる電流を測定することにより決定される。

上記の議論は特別の実施例を開示するものであるが、本発明はこの実施例に制限されないことが理解される。

続くセクションはより詳細に本発明を議論している。特に、次のセクションは

表面プラズモン16が一つの型である、局地波（ローカル波）に関する各種の面を議論している。局地波の異なる型、局地波を支持するために要求される条件、表面波と局地波の間を結合するための要求、および非線形効果が考慮される。次のセクションは変調器としての本発明の使用に関する各種の方法を議論する。基礎的物理現象が最初に述べられ、金属-半導体-金属（MSM）および側pin（LPIN）構造に基づく特別の実施例が続く。加熱および可能な動作波長のような他の潜在的に重要な効果もまた考慮される。それから、検出器（検波器）としての本発明の使用のセクションが続く。最後の2つのセクションは本発明のい

くつかの適用と参照のリストの一般的例示を示す。

2. 局地波（ローカル波）

このセクションにおいて、異なる型の局地波とそれらを支持するための構成が最初に議論され、次に、外面波と局地波の間を結合するために使用される回折格子結合器（グレーティング・カップラ）の要求が続く。最後に、局地波の非線形効果が考慮される。

2.1 局部波動の類型

光導波路においては、本明細書に援用するTamir, T編集の「Integrated Optics」(Berlin:Springer-Verlag, 1993年)に記載されるように、光は全反射（TIR: total-internal-reflection）や表面プラズモンにより制限された領域内で延長された距離を伝搬することができる。TIRモードを持続させる3層誘電体を図3に示す。局部波は主にフィルム28を矢印で示すように伝搬し、局部波がフィルム内に閉じ込められるようにフィルム28の屈折率は両方のカバー30A, 30Bよりの大きくなければならない。用語TIRはフィルム内を伝搬する局部波についてのレイ・トレース（ray trace）モデルに関する。このモデルでは、誘導されるモードに対応する光線は、フィルム28とカバー30A, 30Bのいずれかの界面に臨界角よりも大きい角度で入射し、全反射してフィルム28に戻される。曲線34は低次TIRモードに対する典型的な電界を示している。TIRモードは、光ファイバ等に導波路に関連するモードで、光ファイバではファイバのコアが図3のファイバ28に対応し、クラッドがカバ

ー30A, 30Bに対応する。

別のタイプの局部波は表面プラズモン・モード（又はTM表面波）を利用して図4に示すように光学エネルギーを伝搬させる。このモードでは、電界は金属36と誘電体38との間の単一界面に沿って矢印の方向に伝搬する。曲線40は、表面プラズモンについての典型的な磁界プロファイルを例示している。表面プラズモンの属性には、磁界の高局在化及び主に金属領域の吸収作用による大きな伝搬損失がふくまれる。好適な金属には、アルミニウム、金及び銀がある。表面プラズモン・モードが存在するためには、金属及び誘電体は次の条件を満たす必要がある。

$$\operatorname{Re} \left\{ \left[\epsilon_m \epsilon_s / (\epsilon_m + \epsilon_s) \right]^{1/2} \right\} > \operatorname{Re} \left\{ \epsilon_s \right\}^{1/2} \quad (1)$$

ここで ϵ_m は金属の複素誘電率、 ϵ_s は誘電体の複素誘電率である。図1Aに示されるタイプの電極によって維持される表面プラズモン発振は、電極が図4の金属36のように連続的シートではないので、少し異なった励起条件を有する。それにもかかわらず、存在条件は両方の場合とも類似している。

光はまた表面エバネッセント・モードに結合され得るが、TIR、表面プラズモン、表面エバネッセント・モード又はこれらの任意の組み合わせを本発明における利用に適している。しかし、以下に説明する好適実施例においては、局部波はTIR又は表面プラズモン・モードである。

電子回路を本発明と同じサブストレートに集積することが望ましいので、使用可能な材料は、一般にはIV属系、III-V属系、II-VI属系、特にシリコン（ケイ素）、炭化ケイ素、AlGaAs、InGaAsP化合物を含む。実施例の多くはシリコンに関連して説明する。しかし、本発明はそれらの材料に限定されるものではなく、電気光学材料、電気光学重合体（ポリマー）、関連の有機材料、又は光屈折率材料等の材料に基づく実施例も本発明の範囲内である。

2.2導波路結合

本発明においては、外部波が局部波に結合される。これを行うため、入射光 k の波動ベクトルが局部波の伝搬波動ベクトルの実数部 β と位相整合しなければならない。これは格子によって達成され、位相整合条件は次のようになる。

$$\beta = k \sin \Theta + 2 \pi m T \quad (2)$$

ここで、 Θ は共振入力結合角、 T は格子間隔、 m は局部波に結合される回折次数を表す整数である。例えば、 $|m| = 1$ のとき格子から1次回折が結合され、 $|m| = 2$ のとき格子から2次回折が結合される。ある応用例では、光は電極に垂直に入射することが望ましく、 $\Theta = 0$ である。本発明においては、必要な格子は電極を配置することによって形成される。格子間隔は典型的には波長のオーダーになるので、電極の幅も同様に波長のオーダーになる。例えば、近赤外線領域では、電極幅は典型的には1ミクロンの1/10の幾つかのオーダーである。

式2は格子が一定間隔の場合であるが、実際には結合デバイスは非周期的になる可能性がある。例えば、外部波の強度又は位相プロフィールが一様でない場合、

電極は非平面サブストレートに配置され、又は必要な結合効率は位置によって変化し、そして電極は厳密には周期的ではない一定パターンに配置される可能性がある。

導波路に入るときと出るときの結合には対称な関係が存在する。よい詳細には、格子は導波路にエネルギーを結合すると同様に導波路からエネルギーを取り出し、この結合度 (coupling) は100%の効率ではない。即ち、大量の光が導波路に結合されるか導波路から出る前に、波動と格子との間に多くの相互作用が生じ得る。格子の結合効率は多くの他の要因によって決定され、例を挙げれば、格子及び導波路の幾何学的形状、入射ビームのプロフィール、材料の屈折率等である。

2.3非線形効果

格子に関連して、結合度は非線形作用によりシステムの動作に与えられる影響である。本発明の関係では、主要な非線形作用は、半導体ベースの材料構造体内部の自由キャリア密度及び／又は温度変化による屈折率の変化と関連する。これらの効果は、Preallots, D. F. 及びBrown, T. G. 著「Optical Limiting and Free-Carrier Dynamics in a Periodic Semiconductor Waveguide」(J. Opt. Soc. Am. B. 11(2), 304~312(1990)) に記載されており、その教示内容をここに援

用する。非線形屈折率は次のように表される。

$$n(N_c, T) = n_0 + \Delta n_{NL}(N_c, T) \quad (3)$$

ここで、 n_0 は線形屈折率、 N_c は自由キャリア密度、 T は温度、 Δ は屈折率に対する非線形的寄与である。 N_c 及び T の変化は光学的吸収又はキャリア注入によって主にもたらされる。

図3及び図4の3層及び2層導波路構造における伝搬係数 β は、それぞれフィルム28又は誘電体38の屈折率に非常に依存する。結合構造の非線形特性が与えられると、式2の位相整合条件の正確な表現は次のようになる。

$$\Theta(\Delta n_{NL}) = \sin^{-1} [\beta(\Delta n_{NL}) - 2\pi m / T] \quad (4)$$

従って、屈折率の非線形変化による Θ の変化は位相整合条件に直接的に影響を与える。図5A～5Bはこのことを反射波の強度対入射角 Θ をプロットすることによって例示している。

図5Aは共振時に最大屈折率を得るように設計されたデバイスを例示し、図5Bは最小屈折率になるように設計されたデバイスを示している。共振角 Θ_{res} においては、エネルギーは外部波から局部波に結合され、各波にエネルギーの再配分され、反射波の強度の変化が生じる。 Θ の非線形シフト係数 Δn の変化にほぼ比例する。

共振に与えられる非線形離調の影響に加えて、非線形屈折率は導波路の結合領域における干渉の影響をももたらす。典型的には、外部電界は1点だけでは局部波に結合しない。その代わり、結合は局部波の伝搬方向の格子の比較的広い範囲（格子間隔に比較して）で生じる。従って、結合作用の空間特性が与えられると、非線形効果を考慮したときの空間依存性が存在する。これを仮定すると、非線形伝搬波動ベクトルは $\beta(z) = \beta[\Delta n_{NL}(z)]$ として表され、ここで z は局部波の伝搬方向である。従って、格子の z 方向沿った各点において、結合光は屈折率の非線形項に依存する異なる位相関係を有する。最初の結合位相項に加えて、局部波の各空間成分は結合入射電界に対する伝搬位相項を累積する。その結果、位相差が十分大きいと、伝搬路に沿った任意の点について、伝搬局部波と結合入射電界との間の干渉の影響が生じる。導波路から結合光は、結合領域において、伝搬路に沿って高い又は低い測定屈折率に対応する強め合う干渉又は弱め合

う干渉を受ける可能性がある。

前述した両方の非線形結合効果（共振離調及び進行波干渉相互作用）は本発明に利用することができるが、本発明はその効果に限定されるものではない。例えば、1つの実施例は、電気光学材料を使用して電極の間を満たすことが可能である。電極間の電圧が変化すると、電気光学材料の屈折率、電極及び材料によって形成される格子の結合効率が変化する。更に、電極それ自体を透明（例えば、酸化インジウム・スズ：indium tin oxide）にすることができ、それによって格子カプラは金属格子ではなく位相格子にすることができる。これらの実施例は本発明の範囲内に入ることを意図したものではあるが、好適実施例は共振離調に依存している。

3. 変調

このセクションは、光学変調器としての本発明の動作を考える。基本的な動作が更に説明され、次いで2つの実施形態、その一つは金属-半導体-金属構造に基づくものが、他方はラテラル・ピン・ダイオードに基づくものが開示される。この説明は変調器に関連しているが、当業者はその教示が変調器に限定されないことを認識するであろう。例えば、教示は検出器として用いられる本発明にも適用し得る。

3. 1 基本的な物理的メカニズム

変調器として用いられる本発明の好適実施形態においては、出力波の変調は、隣接電極間に印加される電圧を変えることによりなされ、その結果導波構造の屈折率の変化を生じる。次いでこれは、2. 3において記述したプロセスを通して外部波と局在波との結合の変化と、続いて起こる出力波の変調とをもたらす。

一般に、変調の基礎となる物理的メカニズムは、屈折率の変化に依存する必要がない。デバイスの吸収係数又は複屈折は、用いられ得る2つの共通の代替的な光学的パラメータである。更に、好適実施形態においては、印加電圧が、屈折率を主にフリーキャリア・プラズマ効果を介して変化させる。本発明はこの効果に限定されず、ポッケルス効果、カー効果、フランツ・ケルディシュ効果、量子を閉じ込めるシュタルク効果及びバンド充填等幾つか挙げられるメカニズムのいづ

れかにより、電界を用いて材料の光学的性質を変化させ得る。

シリコン基板による好適実施形態に対して、フリーキャリア・プラズマ効果が用いられる。これは、屈折率がフリーキャリアの導入により変調される電気屈折プロセスである。キャリアは、通常、電極を介しての直接電流注入か、半導体材料内のキャリアの光学的発生かのいずれかにより導入される。次いで、屈折率の変化は、キャリアと光学的フィールドとの間のプラズマ相互作用のために誘発される。このメカニズムは、シリコンを含む、直接及び間接の双方のバンドギャップ材料にとって適している。

3. 2 MSMデバイス

本発明の好適実施形態は、金属—半導体—金属 (MSM) 構造に依存する。図1を参照するに、電極12が金属であり、基板14が半導体である場合、図1はそのようなデバイスを示す。好適実施形態において、基板14はシリコンである。透過された波20が所望の出力波である場合、透過波20の減衰を低減するため

基板14をシリコン膜に置換し得る。セクション2において記述したように、電極12は外部波10が局在波16と結合するように離間されており、当該局在波16はこの特有の形態において表面プラズモンであり、結合係数はセクション2.3において記述した非線形効果に従って屈折率を変化させることにより変えられる。

より詳細には、式(3)に示されるように、半導体の非線形屈折率の変化は、キャリア密度と温度の双方の関数である。これらの寄与の各々は以下のように分離できる。

$$\Delta n_{NL}(N_c, T) = \Delta n_c + \Delta n_T \quad (4)$$

ここで、 Δn_c はキャリア濃度による屈折率の変化であり、 Δn_T は温度による変化である。キャリア動力学をモデル化するためドルーデの理論を用いると、屈折率に対する電子的寄与が、教示がここに援用されるBlakemore, J. S. 著「Solid State Physics, 2nd ed. (Cambridge: Cambridge University Press, 1985

年発行) の157～169ページに記述されているドルーデのモデルを介してモデル化され得る。従って、屈折率は以下の形式を有する。

$$\Delta n_c = N_c (-8.9 \times 10^{-22} \text{ cm}^3) \quad (5)$$

実験的には、熱の寄与は次式により近似化し得ることが示された。

$$\Delta n_T = (T - 300 \text{ K}) (2 \times 10^{-4} \text{ K}^{-1}) \quad (6)$$

教示がここに援用されているSauer, Hその他の「Optimization of a Silicon-on-Sapphire Waveguide Device for Optical Bistable Operation」(J. Opt. Soc. Am. B., 5 (2) 1988年発行) の443～451ページを参照されたい。しかしながら、好適実施形態においては、幾つかの理由から熱効果を最小にするのが望ましい。第一に、熱プロセスは、通常、電子的効果より応答時間において非常に遅い。二番目に、式(5)及び(6)は、逆の符号を持ち、双方が存在するとき互いに相殺する傾向を持つ。従って、早い効率的な光学スイッチング・システムを設計するため、温度による効果は最小にすべきである。

ドルーデ理論により予測される電子的効果に集中すると、キャリア密度をMSM構造において変調し得る2つの方法がある。それらは、光学的吸収を介するキャリア注入かキャリア発生かのいずれかを含む。

半導体領域の内部がオーミックであるならば、キャリア注入(即ち注入された電流)は次に記すオームの法則によりモデル化され得る。

$$J = \sigma E, \quad (7)$$

ここで、Jは内部電流密度であり、Eは内部電界であり、 σ はキャリア濃度N_cに比例する導電率である。任意の所与の瞬間に、キャリアが半導体領域に電極間で注入され、ドルーデ理論により予測される屈折率の変化を生じる。

他の方法は、キャリアを発生するため半導体の吸収性質を用いる。入射光エネルギーが半導体のバンドギャップと等しいか又はそれより大きい場合、価電子帯の電子は伝導帯に転送されるのに十分なエネルギーを吸収することができる。入射光の強さを変えることによるか、又は好適実施形態の場合であるように電極間に印

加される電圧を変えてキャリアを半導体領域から掃き出すことによるかのいずれかにより、フリーキャリア濃度を変え得る。1つの吸収された光子は1つのフリーの電子-ホール対を生成する。GaAsのような直接バンドギャップ半導体についての吸収プロセスは1ステップ・プロセスであるが、Siのような間接バンドギャップを有する半導体についてのプロセスは2ステップを要する。間接バンドギャップ材料においては、吸収された光子は運動量の変化を提供しないで、第2のプロセスが励起された電子を伝導帯に転送するのに必要とされる。これは、通常、格子フォノンの放出を含む。第2の吸収ステップにより、間接バンドギャップ半導体における共鳴吸収は通常間接バンドギャップを有する半導体より非常に小さい。

光吸収の方法が直接電流注入の方法より良い一つの利点は、フリーキャリアを生成するためのエネルギーが入射光から来ており、デバイス自身により発生された電流から来るのではないので、光吸収性デバイスが潜在的により少ないパワーしか必要としないことである。

3. 2. 1 電子的性質

キャリア濃度を変える好適な方法は、半導体-金属境界面の電子的性質を考慮することにより理解し得る。図6Aは図1のMSMデバイスの電子的状態の単純化した一次元モデルである。フィンガ22、24と半導体14とは2つの境界面42A及び42Bを形成する。各境界面42A、42Bで、ショットキー・バリアとして知られている空乏領域が形成される。図6AはゼロバイアスでのMSM構造のエネルギー線図44における状態を示す。ここで、 E_c は半導体伝導帯エネルギーレベルであり、 E_v は半導体価電子帯エネルギーレベルであり、 E_f はゼロバイアスでの金属22、24と半導体14の双方に対するフェルミ・エネルギーレベルである。nドーパされた半導体については、過剰のキャリアが、金属領域に金属のより低いエネルギーレベルにより移動する。キャリアが空になるにつれ、領域間の電荷不平衡が、全部の電流の流れを最終的に抑制する電子的フィールドを発生させる。これは、ショットキー・バリアの基礎を形成する。該バリアが十分大きい場合で、且つ入射光がない場合には、電流の流れは、印加されたバイアス電圧

が存在するときですら抑制される。従って、ショットキー・バリアは電子的にダイオードのように振る舞う。この性質は、そのバリアを光学的検出器あるいは変調器として用いることを可能にするものである。

前述したように、半導体に吸収されたエネルギーのあるフォトンがフリーキャリアを発生する。ゼロバイアスのMSM構造においては、発生されたフリー電子46は、金属電極22及び24間の半導体領域に蓄積する傾向を持つ。これは、伝導帯の半導体-金属境界面での対称的な曲がりにより生じる。他方、発生されたホール48は、価電子帯の曲がりにより境界面42A、42Bに向けて移動する傾向を持つ。好適実施形態においては、プールされたフリーキャリアは半導体領域から掃き出され、従ってキャリア密度を変え、対応して屈折率の変化を導く。この掃き出しは、図6Bに示されるように、MSM構造の金属電極22及び24間にバイアス26を印加することにより達成される。ここで、 E_{fs} 及び E_{fb} はそれぞれ半導体領域及び金属領域についてのフェルミ・エネルギーレベルである。図示のように、MSM構造の1つの境界面は逆方向にバイアスされ、他方の境界面は順方向にバイアスされている。バイアス電圧は各境界面でそれぞれのフェルミ・エネルギーレベルをシフトさせる。これは、導通エネルギーバンドが傾くことにより電子46が順方向にバイアスされた領域を通してあふれることを可能にし、その

結果キャリア濃度を変えることをもたらす。

上述したプロセスは、光学的吸収を用いて光を変調し屈折率の変化を誘発することについてである。それはキャリア注入をカバーしていない。しかしながら、キャリア注入変調は、記述するのに概念的により単純なプロセスである。注入されたキャリアで変調するため、バイアス26は、ショットキー・バリア電位を越えるのに十分な程大きくされる。これは、半導体領域14を通る電流の流れを増大し、それは対応して即時のキャリア密度及び結合特性を変える。しかしながら、この変調方法は、通常、小さいショットキー・バリア接触電位を有するMSM構造に対して確保されるであろう。即ち、金属-半導体境界面42A、42Bはオーミック・コンタクトであるべきである。

最後の所見として、金属電極12が2つの目的に働くことを注目すべきである。最初に、それらの金属電極12は、それらが外部波10を局在波16に結合させ、且つ局在波16を支持する構造を形成する点で光学的機能を働く。第2に、それらの金属電極12は、ショットキー・バリア42A、42Bの形成及びバイアスのバリアへの印加の点で電氣的機能を働く。単一金属は双方の機能に対して理想的でないかも知れず、従って、電極12は複合構造を有し得る。例えば、金は表面プラズモンの支持にとって好適な金属である。しかしながら、金は良好なショットキー・バリアを形成せず、一方タングステンは良好なショットキー・バリアを形成する。従って、電極12は、バリアを形成するためシリコン14と接触するタングステン層と、これに続いて表面プラズモン16を支持するためタングステンと接触する金属とから成る。一般に、電極及び基礎となる構造は、更に一層複雑であり、ドーパされた半導体領域、量子井戸構造、超格子構造、及びインジウム錫酸化物のような透過的な導体の使用を含む。例えば、実効キャリア密度を増大させ、フィールドにより誘発された屈折率の変化を高めるため、量子井戸及び量子細線を用い得る。

3. 2. 2 カバー材料

図1のMSM構造は、高度に非対称である。本質的には、空気（一般的にはカバー層と考えられる）と、金属12および半導体14の層との間には、大きな屈折率の勾配（グラディエント、gradient）がある。その結果として、その構造中

へのカバー結合効率は、図7A-図7C（これらは、可能な3つの表面プラズモン・モードのプロフィール49A、49B、49Cを示している）に図示したように劣悪となる可能性がある。このMSM構造では、プラズモンが発生する2つの界面がある。一方は、半導体14-金属12の界面であり、他方は、空気-金属12の界面である。この非対称構造では、それら2つの界面のプラズモン・モード間にはオーバーラップはほとんどない。この結果、それらモード間のエネルギー交換率が低くなり、また半導体14-金属12プラズモンへの劣悪なカバー結合となる。好適実施例において使用するスイッチング・プロセスが半導体領域14内で生起するため、それらプラズモン・モード間のオーバーラップにおける改

善によりデバイス性能の改善が生じることになる。この好適実施例においては、これは、カバーとして層50を堆積させて構造を対称にすることにより実現する。カバー50は、半導体層14とほぼ等しい屈折率をもつように選ぶ。好ましい材料には、アモルファスおよび多結晶のシリコンが含まれるが、ただし、材料は、それら選択した材料に限定されるものではない。また、その他の誘電体、薄膜、並びに誘起材料も、使うことができる。これは、図7D-7Eに示すような埋込電極結合の構造を作る。この追加の層は、モード・プロファイル51A, 51Bに示すように、プラズモン・モードのオーバーラップを向上させ、その結果、半導体14-金属12界面に生成されるプラズモン中へのカバー結合がより良好となる。このMSM実施例においてはある1つのカバー材料の使用を例示したが、この一般的な原理は、その他の実施例にも同様に適用可能である、ということ は理解されるべきである。

3. 2. 3 多層デバイス

以上に、バルク半導体基板上の1つの金属電極に関して本発明を説明したが、本発明は、その構成に限定されない。1つの代替の実施例は、図8に示した3層誘電体導波構造に関する。この構造は、図3に図示したものと同様であり、多くの材料系がこの構造を製作するのに使うことができる。しかし、シリコン-オン-絶縁体 (silicon-on-insulator) (SOI) 構造は、製作の容易さ、並びに使用の結果生ずるローカル波の堅固な閉じ込めのため、好ましい。このSOI構造は、異なった多くの変形例があり、これには、シリコン・オン・サファイア

で、インプラントした酸素による分離のボンド/エッチバック式SOI (BEB-SOI)、並びに多結晶SOIが含まれる。BEB-SOIは、良好な導波特性をもつことが判った。エヴァンス (Evans, A. E.) とホール (Hall, D. G.) の “ショットキー・ダイオードを使った波長 $\lambda = 1.3 \mu\text{m}$ に対するシリコン中の電気的誘起の屈折率変化の測定 (Measurement of the Electrically Induced Refractive Index Change in Silicon for Wavelength $\lambda = 1.3 \mu\text{m}$ Using a Schottky Diode)” Applied Physics Letters, 56, 212 (1990) があり、この教示内容は、言及により本開示に含めるものとする。図

8の好適実施例においては、TIR波は、アモルファス・シリコン・カバー30A、結晶シリコン膜28、二酸化シリコン絶縁層30Bにより支持されている。金属電極12は、結合機能および電氣的機能のために使う。その全体構造は、シリコン基板52上にある。

図8の3層構造は、図1のもののようなバルク構造と比べ、利点がいくつかある。すなわち、生成されたあるいは注入されたキャリアが半導体28の狭い領域に制限されるため、より高速のスウィッチングを与える。バルクの場合、キャリアは、その発生点から遠くに広がり、その結果、テールエンド・スウィッチング応答の遅れが生ずる。第2に、プラズモンとTIRの導波モードの両者は、本構造内に存在し得ることである。両モードの同時励起により、より一層効率的な変調が得られる。表面プラズモンと比べ、TIRモードは、半導体層内のより深くで生起する。その結果、より多くの自由キャリアが解放されて屈折率に影響を及ぼす。加えて、本構造がその低反射率状態（オフ状態）の間に共振状態に置かれると、両モードの加算された効果により、より多くのエネルギーが本構造に結合される。また、3層MSM導波構造には、いくらかの欠点もある。本構造は、設計並びに製作の両方の点で明らかにより複雑である。また、不完全な絶縁体30Bによる追加の漏れ電流の結果として、本構造の付加的な加熱が生じることがある。

図9A-図9Bの代替の多層構造においては、量子井戸ジオメトリは、有効キャリア密度を増しそして屈折率のフィールド誘起変化を増強するのに使うことができる。図9Aでは、図8の絶縁層30Bは、量子井戸構造53Aで置き換えている。図9Bでは、量子ワイヤ53Bをその代わりに使用している。通常の電子吸

収（normal electroabsorption）は、印加フィールドがその量子井戸を横切る向きとすることを必要とし、これは、図9A-図9Bの実施例では非現実的である。しかし、キャリア注入に関連した有効電流密度を大きくするために、量子井戸に沿った伝導を使うことは可能である。これは、はるかに低い注入電流を生じ、AlGaAsのようなIII-V系、SiGeまたはSiCのようなグループIV系が、その実施例には好ましい材料系である。

多層構造のその他の多くの変形例についても、当業者には明らかである。

3.3 LPINデバイス

図10には、代替の好適実施例を示す。シリコン基板52上の結晶シリコン膜28と埋込酸化物層30Bは、図8のSOI構造と同様である。ただし、構造のその残りは、より複雑である。金属電極12は、上部酸化物層30Aとそして交互の接点p+およびn+ドーパされた領域54, 56で分離されており、したがってシリコン-オン-絶縁体(SOI)構造上にラテラルで周期的な一連のPINダイオード(LPIN構造としても知られている)を形成している。それらドーパされた領域は、堆積、拡散、またはこれら2つの組合せにより形成することができる。適度の逆バイアス電圧では、ディプレッション領域は、p+拡散領域54とn+拡散領域56との間に完全に広がる。この設計の1つの特徴は、埋込酸化物領域30Bである。この特質は、その吸収プロセスの間の深いキャリア(deep carrier)の発生を妨げるが、これがなければ、このデバイスの帯域幅を制限してしまうことになる。

MSMに対するこの設計の1つの利点は、n+-nとp+-nの拡散界面に存在する高品質の接合である。そのベースとなる材料は全てシリコンであるため、それらの境界には、欠陥や転移はほとんどない。この結果、漏れはより小さくなり、また自由キャリア寿命が長くなる。この好適実施例においては、PINダイオードは、順バイアスで動作させ、そして屈折率の変調は電流注入により実現する。

MSMデバイスと同様、LPINの電極12は、導波結合器(ウェーブガイド・カップラ、waveguide coupler)として作用できる。ところが、LPIN構造は、ディプレッション領域内の金属表面の欠如のため、光-プラズモン相互作用を用

いることは困難である。一方、この構造は、3層誘電体(SOI)の形態であるため、TIR導波モードをその代わりに使用することができる。この構造のカバー結合効率を向上させるには、高屈折率のカバー層(cover layer)を、前述したように追加してもよい。

3. 4 種々雑多な考察

デバイスの光結合および電子的働きに加えて、述べるに値するその他の種々の考察事項がある。

3. 4. 1 熱特性

式4に示したように、屈折率の変化合計は、電子的プロセスと熱プロセスの両方の和である。どのような種類の光電子式構造を設計するときにも考察すべき1つの主要な事項は、デバイス加熱の影響である。先に指摘した様に、熱的效果は、電子的プロセスに比べてはるかに遅い応答時間をもつ。その結果、支配的な物理的效果が熱性である場合、その変調スイッチング速度は、深刻なほど劣化する。また、別の問題は、熱的效果と電子的効果が逆の符号のものであること起因して存在する。屈折率変化合計がそれら2つの量の和であるため、熱性の屈折率変化は、電子性の屈折率変化を相殺する傾向がある。代表的には、熱性変化は、最小にすべきである。標準的な方法には、ヒートシンクまたはアクティブ・クーラの使用が含まれ、そしてそれでは、デバイスの熱的安定性を維持するようにフィードバック・ループを用いる。

1つの加熱源は、半導体領域内の生成された電子-正孔ペアの非放射性的再結合である。光エネルギーが吸収されて、電子と正孔のペアが生成されると、個々の粒子は、ローカルのフィールド分布に応じた方向に移動する。それら生成された粒子は、屈折率をその変調のために変更するか、あるいは検出のための光電流を発生するのに使用することができる。しかし、電子-正孔ペアが、それらの特性の使用の前に非放射的に再結合すると、その蓄積されたエネルギーは、半導体格子に熱の形態で引き渡される。ここで注意すべきは、間接バンドギャップ半導体が、放射性的遷移を許しておらず、これは、全ての自由キャリアが非放射的に減衰しなければならないことを意味する。しかし、それらキャリアは、再結合が生じる前に、印加電界によりその相互作用領域から一掃することができ、これにより、

加熱効果を低減させることができる。

第2の熱源は、ジュール加熱であり、これは、半導体の電流の流れに対する抵

抗から生ずる。電流がある材料中を通過するとき、非弾性の衝突が、流れる電子と格子との間に起きる。これは、その材料じゅうに熱を発生させる。ジュール加熱は、電流注入の場合とフォト発生 (photo-generation) の場合の両方の場合に生じる。しかし、等価の電子的効果を仮定すると、電流注入によるジュール加熱は、それら2つの内でより顕著な方となる。自由キャリアがフォト生成されるとき、それらは、電位井戸の内側にトラップされ、電流の正味の流れはなくなったが、ジュール加熱はない。電流は、フィールドをその生成領域を横切るように印加するときのみ、流れる。したがって、フォト生成されたキャリアは、上記一掃プロセスの間により短い抵抗性経路に出会い、その結果、熱発生がより少なくなる。

上記温度効果と戦う際に用いることができる1つの方法は、変調器のオン状態およびオフ状態（または高反射率状態と低反射率状態）の間の熱発生プロセスをバランスさせることである。本質的には、熱的な準定常状態を実現して、時間依存温度効果を除去することが可能とすべきである。

このオン／オフ状態の間の温度をバランスさせるプロセスは、フォト生成されたキャリアを利用するMSM変調器コンセプトにも適用可能である。電流注入型の変調器とは違って、大きな密度のフォト生成キャリアは、構造内にオン状態の間存在する。我々が先に指摘したように、その生成された自由キャリアは、電流漏れに起因して非放射的に再結合し、これにより格子を加熱する。変調器のオフ状態の間は、電流は、構造中を流れて、ジュール加熱を生じさせる。したがって、再結合と電流の流れとから生成される熱の量が等しい場合、時間依存性の熱効果は最小にできる。

3. 4. 2 動作波長

変調器が動作する波長領域は別の重要な考慮事項である。シリコンに基づく好適な実施の形態に対しては、光吸収は波長 $1.06 \mu\text{m}$ において約 11 cm^{-1} である。室温でのこの波長において、光子のエネルギーはシリコンのバンドギャップ・エネルギー (1.12 eV) にほぼ等しい。波長がこれより長くなると、吸収は急

速に低下する。これより短い波長においては、吸収は急速に増大する。吸収曲線は結晶質シリコン、多結晶質シリコン及びアモルファス・シリコンに対して異なる。アモルファス・シリコン及び多結晶シリコンはについて言及する。これらの材料は構造を対称化するための被覆材料として用いられるからである。波長が短くなるにつれて吸収が増大すると、シリコンにおける自由キャリアの生成も増大する。したがって、キャリアの光生成に依存する実施の形態においては、短い波長での装置の動作は該装置の変調強度を改善する。

4. 検知器

検知器として用いられる実施の形態は、変調器として用いられる実施の形態と同じ現象に大きく依存する。例えば、変調器は、電極間の電圧を変えることにより外部波（エクスターナル・ウェーブ、external wave）と局部波（ローカル波）との間の結合を制御する装置と考えることができる。これが達成されるのは、電圧の変更によって、半導体ウェーブガイドに生成される自由キャリアの数が影響され、このキャリア数は、電気屈折（electrorefractive）プロセスの1つを介してウェーブガイドの屈折率を変えることによって結合に影響するからである。つまり、電極の電氣的状態は、光の結合に影響を与えるキャリア数に影響する。こうした連鎖の逆——光がキャリア数に影響し、キャリア数が電極の状態に影響する——は、検知プロセスを大まかに説明する。装置は外部波の局部波との結合を最大にするよう構成される。次いで、最大強度の外部波は半導体材料にキャリアを生成し、生成されたキャリアは電極によって感知される。したがって、変調器についての教示の多くは検知器にも直接に応用可能であり、MSM及びLPIN構造に基づくものを含む実施の形態は、検知器（検波器）として用いることができる。以下の項は、検知器として用いられるべき実施の形態と変調器として用いられるべき実施の形態との間の相違のみを強調する。

4. 1 動作波長

変調器においては、装置の吸収特性は光吸収によって生成される自由キャリアの数を決定する。しかし、吸収が弱いならば、自由キャリアは直接注入という別のプロセスによって生成される。検知の場合はこうではない。装置は該装置が入射放射を吸収する波長に制限され、吸収が強くなるほど、感度の良い検知器へ直

接移行する。ここで、吸収プロセスは半導体の平衡帯 (balance band) から伝導帯への遷移に制限されないことに注意すべきである。例えば、吸収は半導体の金属フェルミ・レベルから伝導帯への遷移により起こる。

4. 2 検知のメカニズム

本装置の発明は、電極構造の二重利用にある。電極は光を外部波から局部波へ光学的に結合し、次いで、この局部波の強度は電極によって電氣的に感知される。この光学的な結合により、従来の非結合型の検知器に比して強められる場が生じる。この場のこの後の感知は、フォトダイオード、光導電性デバイス及び光起電力デバイスに基づく手法を含む広く使用されている光検知方法のいずれかによって達成し得る。

先に説明したとおり、MSM手法においては、二重ショットキー・バリアはキャリアのプール (pool) を形成し、電圧バイアスを印加すると、このプールから電流を生じさせる。検知器の応用においては、電圧バイアスが印加され、その結果の電流（これは外部波の強度を表す）が感知され、光学場の強度がこうして検知される。代わりに、ショットキー・バリアが低い（即ち、金属-半導体コンタクトが本質的に抵抗性である）ならば、半導体の抵抗は光学場の強度によって決定され、装置は光導電体として動作する。

LPIN構造の場合、装置は、通常のフォトダイオードとして、光導電モード又は光起電力モードで動作する。光導電モードにおいては、pin接合は逆バイアスされ、外部場の強度は隣接する電極間の電流を感知することによって決定される。光起電力モードにおいては、電極間に電圧が印加されない。その代わりに、外部波によって生成されたキャリアから生じる電圧が感知され、こうして外部波の強度が指示される。

5. 一般的な図

図11A-図11Bは、変調器として用いられる本発明の一般的な図を示しており、図12は検知器として用いられる本発明を図示している。図11Aにおいては、本発明は反射モードで用いられる。外部波10は格子／電極12に入射し、反射波18の強度は先に開示したように変更される。検討した多くの実施の形態においては、電極12はシリコン基板14上にあるので、通常の回路58も同

じ

基板14上に集積される。この回路58は、電極12を駆動して反射波18の強度を変更するために用いられる。変調器と回路とを製作するのに標準技術を使うので、多くの変調器又は変調器配列は単一の基板上に製作することができる。図11Bは送信で用いられる装置を示している。この場合、送信波20は変調される該当の波である。シリコンが高吸収性であるスペクトルの部分に光があるならば、シリコン14を薄くし、又は、装置及び回路58のためにシリコン膜を用いることが必要である。ガラスその他の透明な基板60を用いることにより、構造的な支持が達成される。

図12においては、装置は外部波10の強度を感知するために用いられる。この場合、波は能動的には変調されない。むしろ、外部波10の光学場は、電極12を介して回路58により感知される電場を生成する。この回路も、局部平均化、エッジの検知及び背景の補正のような複雑な機能を組み込んでいる。

【図1】

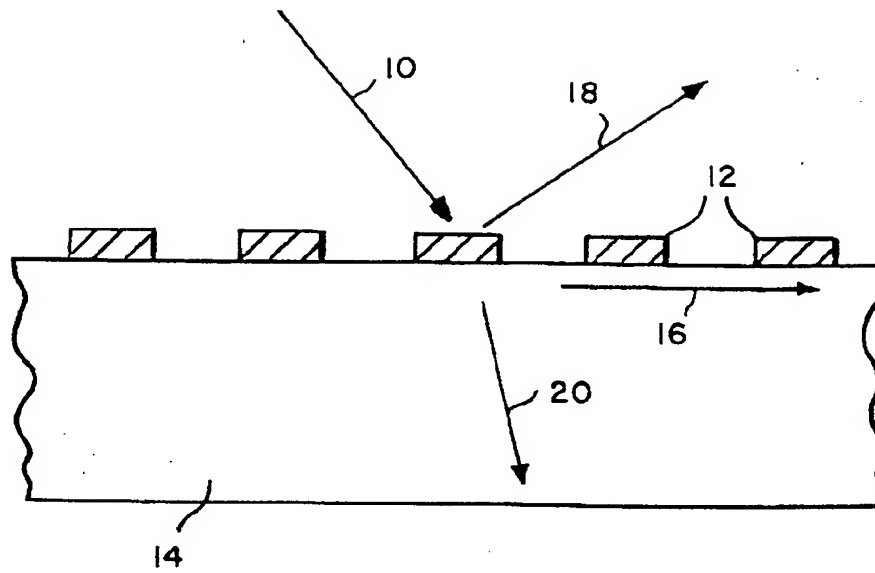


FIG. 1A

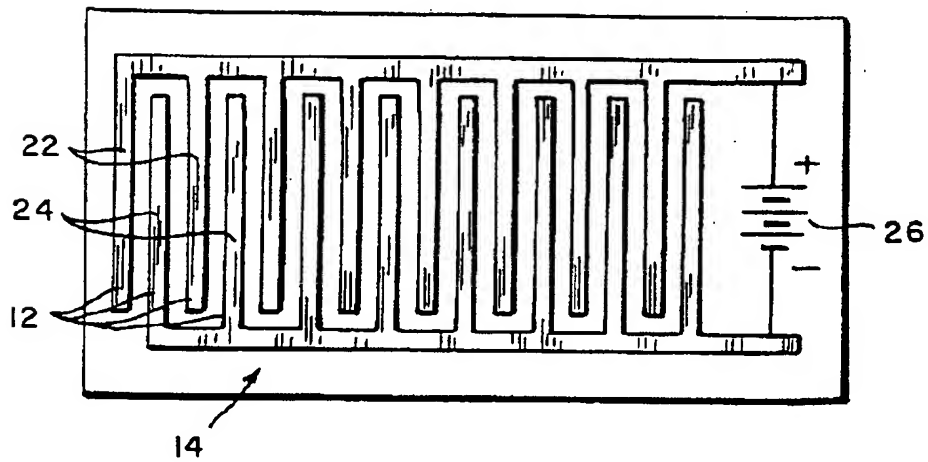


FIG. 1B

【図2】

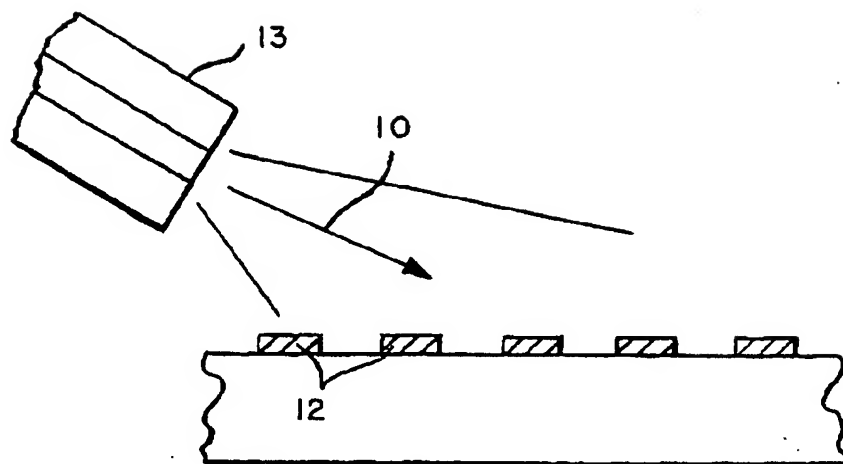


FIG. 2A

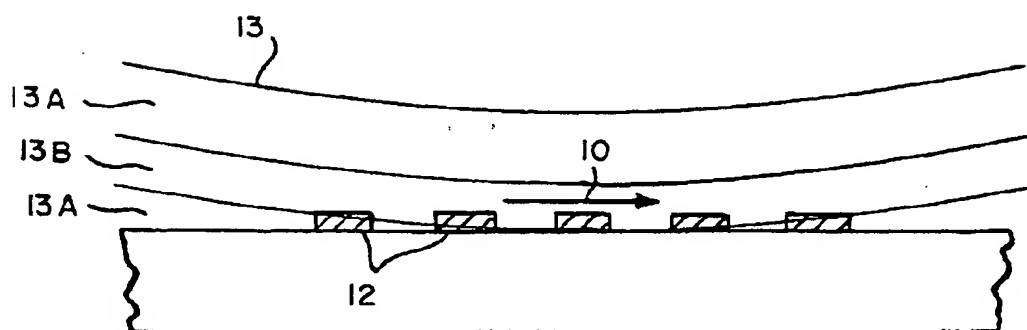


FIG. 2B

【図3】

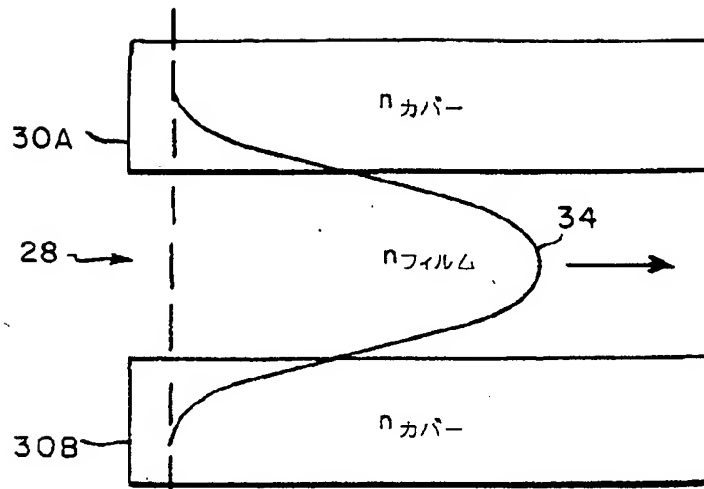


FIG.3

【図4】

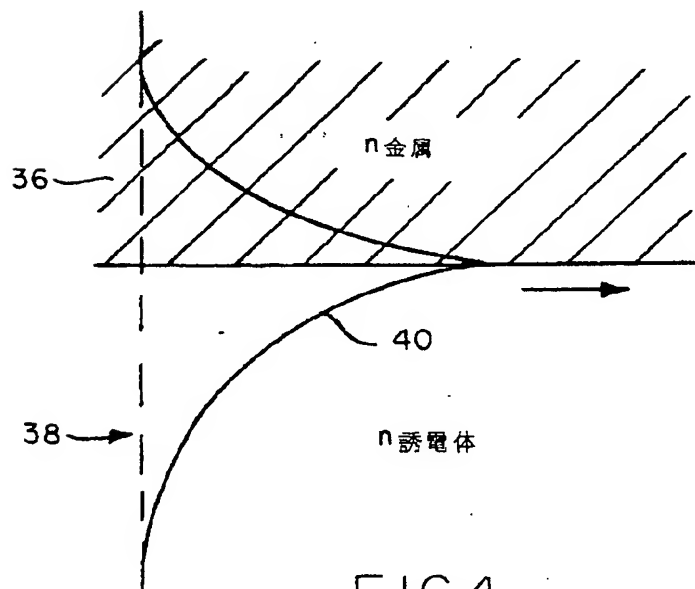


FIG.4

【図5】

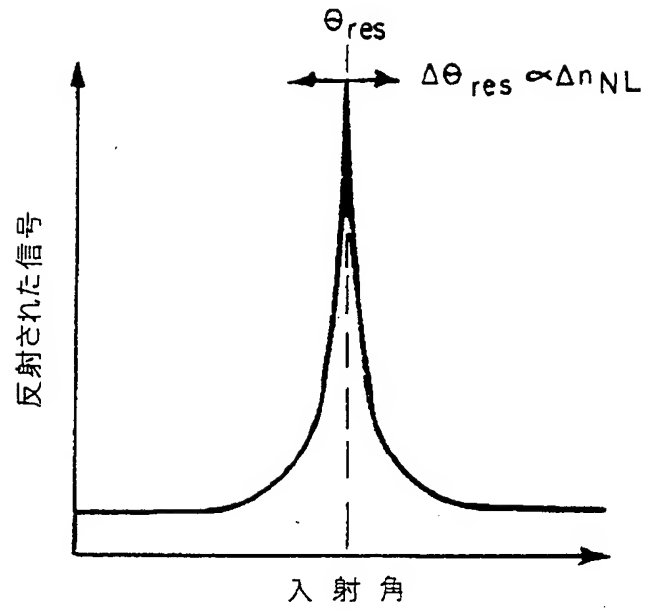


FIG. 5A

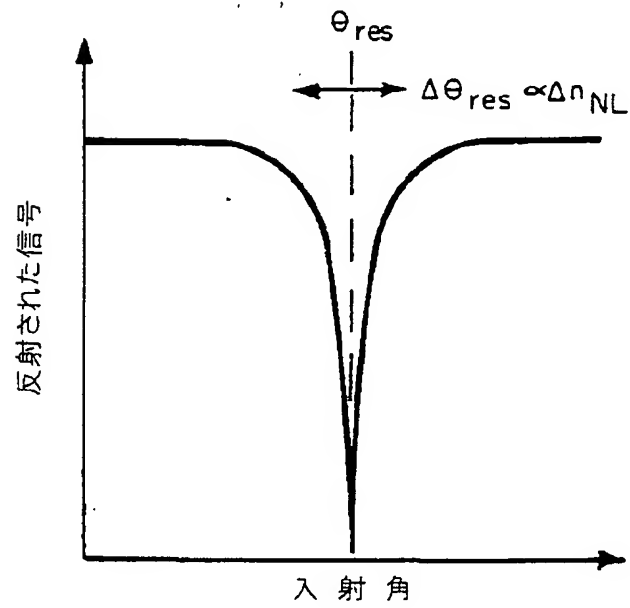


FIG. 5B

【図6】

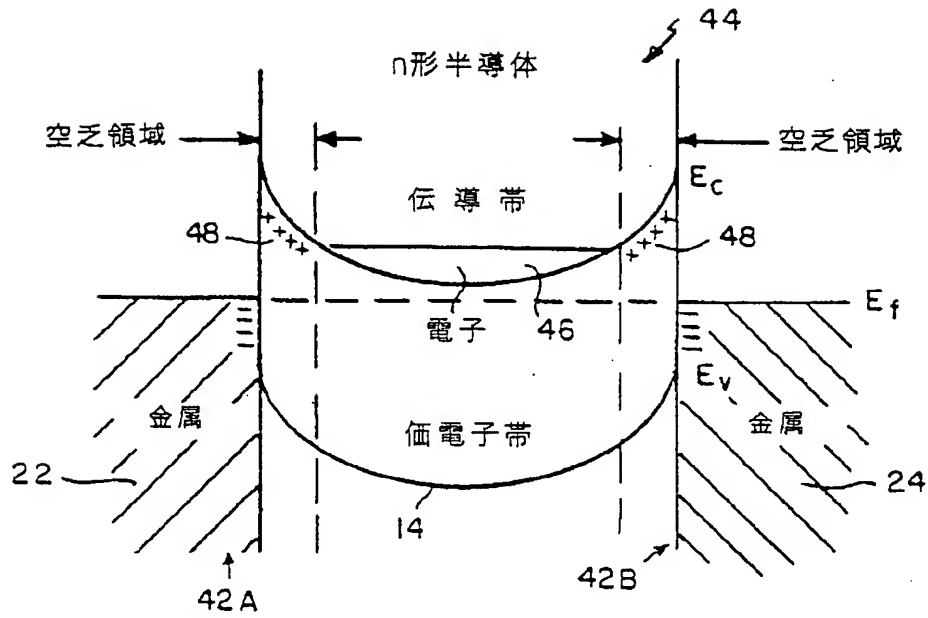


FIG. 6A

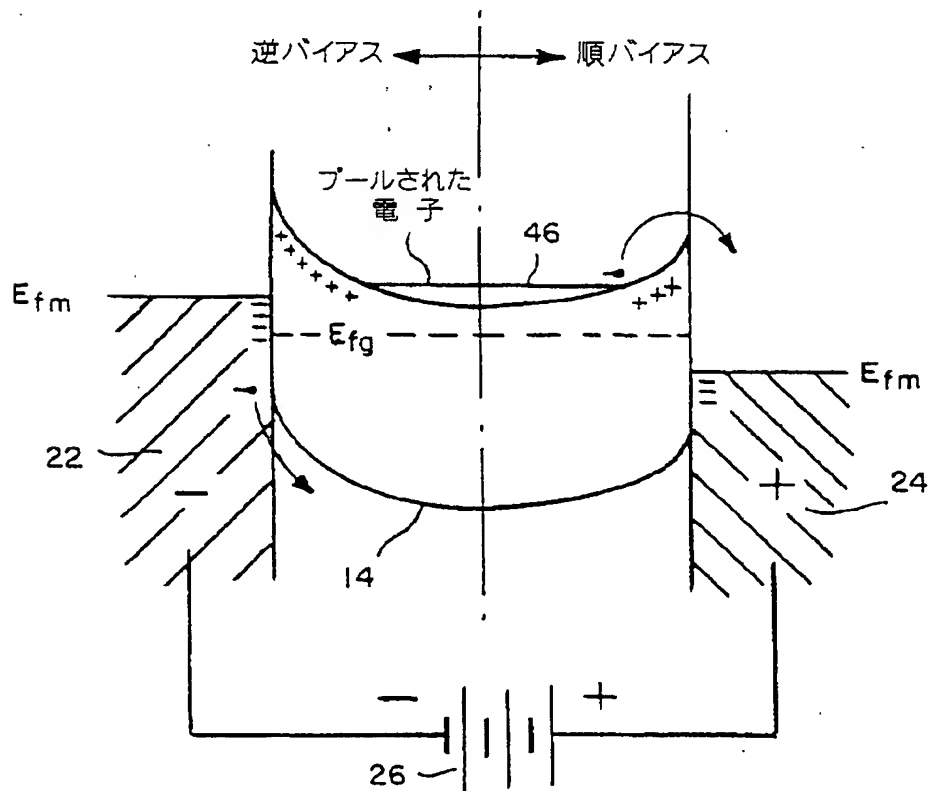


FIG. 6B

【図7】

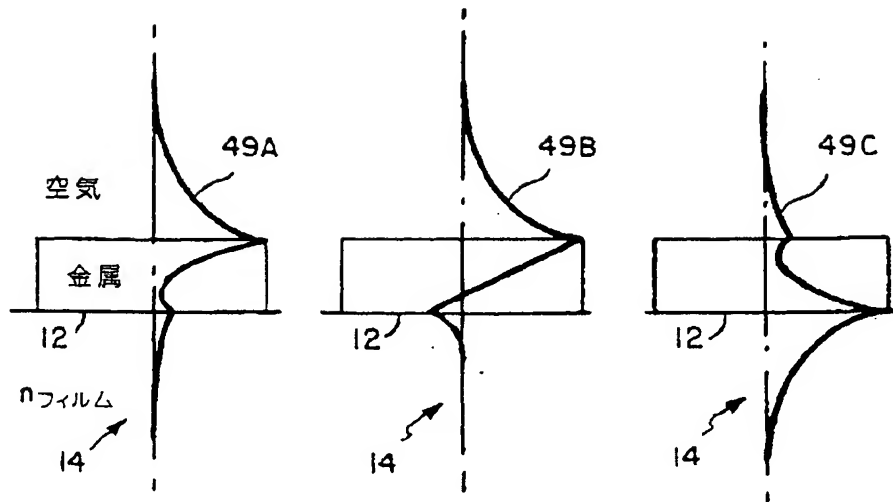


FIG. 7A

FIG. 7B

FIG. 7C

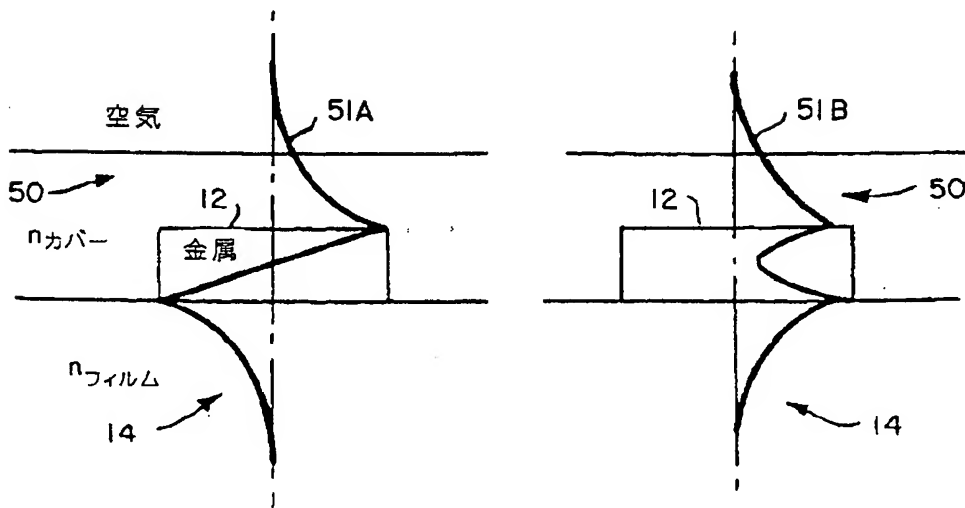


FIG. 7D

FIG. 7E

【図8】

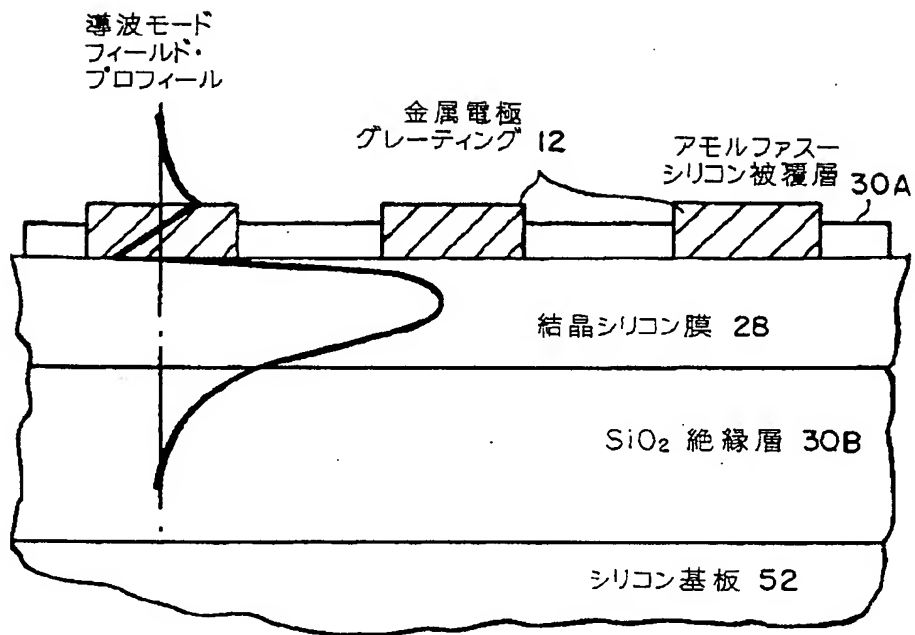


FIG. 8

【図9】

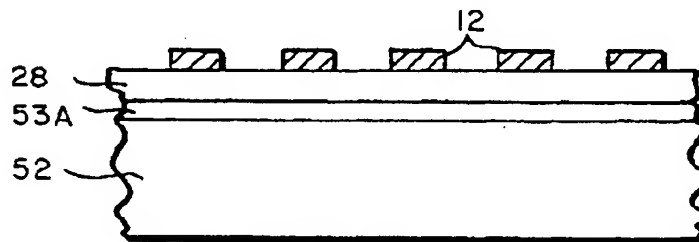


FIG. 9A

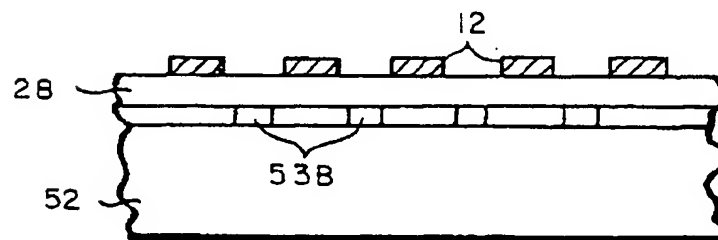


FIG. 9B

【図10】

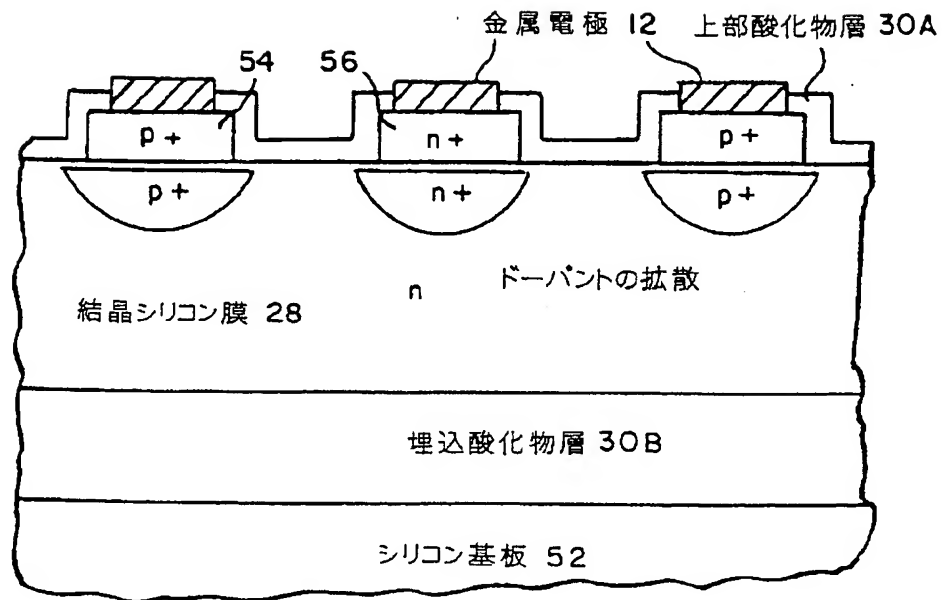


FIG. 10

【図11】

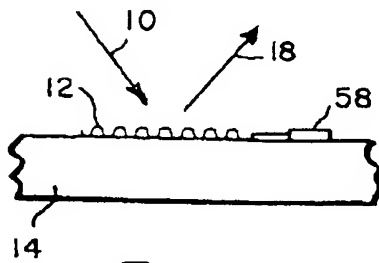


FIG. 11A

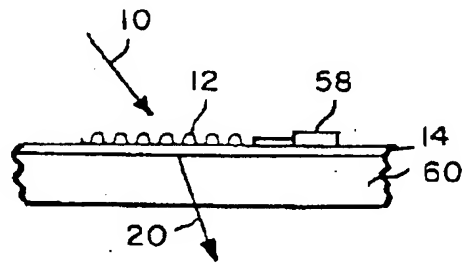


FIG. 11B

【図12】

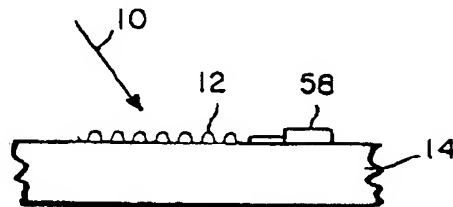


FIG. 12

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/US 95/10313

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 6 G02F1/01 G02B6/34

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 6 G02F G02B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US,A,3 804 489 (LI T ET AL) 16 April 1974 see column 2, line 1 - column 3, line 45 see claims 1,7; figure 1 ---	1-6, 10-17, 26-28, 40,42, 49-51,56
A	IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, DEC. 1973, USA, vol. MTT-21, no. 12, ISSN 0018-9480, pages 775-785, XP000563326 CHANG W S C: "Periodic structures and their application in integrated optics" see section III; figures 3(a). 4 --- -/-	1,2,8, 10-12

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"A" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

26 February 1996

Date of mailing of the international search report

09.04.96

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentsaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-3040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Iasevoli, R

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Intern. Appl. Application No.

PCT/US 95/10313

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>APPLIED OPTICS, 1 JULY 1985, USA, vol. 24, no. 13, ISSN 0003-6935, pages 2001-2004, XP002000002. REINISCH R ET AL: "Fast Pockels light modulator using guided wave resonance"</p> <p>see abstract; sections I, II.B.(3); ---</p>	<p>1,2,7,8, 10-12, 16,17, 26,42, 46,47, 49-51,56</p>
A	<p>US.A,4 915 482 (COLLINS REUBEN T ET AL) 10 April 1990 cited in the application</p> <p>see abstract see column 4, line 19 - column 6, line 65 see claims 1,2,7,8,14,16; figure 1 ---</p>	<p>1-7, 10-12, 19,23, 29, 31-34, 44,46, 49,56</p>
A	<p>OPTICS LETTERS, 15 SEPT. 1994, USA, vol. 19, no. 18, ISSN 0146-9592, pages 1453-1455, XP000472099 CHIA-CHI WANG ET AL: "Ultrafast, all-silicon light modulator" see abstract see page 1453, right-hand column, paragraph 1 - page 1454, right-hand column, paragraph 2 see page 1455, left-hand column, paragraph 3 see figures 1,2 ---</p>	<p>1,10-17, 27-30, 37,41, 49,52, 55,57</p>
P,A	<p>APPLIED PHYSICS LETTERS, 19 JUNE 1995, USA, vol. 66, no. 25, ISSN 0003-6951, pages 3401-3403, XP002000003 BIEBER A E ET AL: "Optical switching in a metal-semiconductor-metal waveguide structure" see the whole document -----</p>	<p>1-7, 10-16, 28-30, 37,40, 41,46, 49-51,56</p>

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Internat. Application No.

PCT/US 95/10313

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US-A-3804489	16-04-74	NONE	
US-A-4915482	10-04-90	DE-D- 68920541	23-02-95
		DE-T- 68920541	06-07-95
		EP-A- 0365766	02-05-90
		JP-A- 2129616	17-05-90

フロントページの続き

(81)指定国 EP(AT, BE, CH, DE,
DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, M
C, NL, PT, SE), OA(BF, BJ, CF, CG
, CI, CM, GA, GN, ML, MR, NE, SN,
TD, TG), AP(KE, MW, SD, SZ, UG),
AM, AT, AU, BB, BG, BR, BY, CA, C
H, CN, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, GB
, GE, HU, IS, JP, KE, KG, KP, KR,
KZ, LK, LR, LT, LU, LV, MD, MG, M
N, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU
, SD, SE, SG, SI, SK, TJ, TM, TT,
UA, UG, UZ, VN